

機械学習法によるダム貯水位予測の研究～北海道・金山ダムの事例～

室蘭工業大学
室蘭工業大学
室蘭工業大学
室蘭工業大学

○学生員
正員
非会員
学生員

坂本 莉子
中津川 誠
小林 洋介
木浪 梨花

(Riko Sakamoto)
(Makoto Nakatsugawa)
(Yosuke Kobayashi)
(Rika Kinami)

1. はじめに

2016 年 8 月，北海道において 4 つの台風が連続して上陸及び接近し，広域にわたって甚大な被害をもたらした．金山ダムでは連続する台風の影響により，ダムへの流入量が増大したため，通常の洪水調節から異常洪水時防災操作に移行した．また，2018 年 7 月，西日本豪雨においても異常洪水時防災操作が実施され，ダム下流部で氾濫が発生した．近年このような洪水事例が全国で頻発しており，事前放流など被害を最小限に抑える措置のため，迅速かつ精度の良いダム流入量，貯水位の予測が望まれる．

現在，現業部門で用いられている予測手法は予測雨量を入力条件に，流出モデルで流入量を算出する手法が主流である．最近は，機械学習法により水文情報を予測する方法が注目されている．先行研究として，著者ら¹⁾は Random Forest 法（以下，RF 法）を用いて上下流の情報の因果関係を見出し，河川水位を高精度で予測した結果を報告している．本研究はそれを発展させ，上流部の水文情報が少ないダムの流入量，貯水位予測を行うことを目的としている．

2. 研究方法

2. 1 対象地点と対象事例

本研究では，図－1 に示す国土交通省北海道開発局が管理する金山ダムを対象とした．予測対象事例は金山ダムにおいて観測ピーク流入量が，2000 年以降既往第一位である 2016 年 8 月事例とし，予測に用いた洪水事例は表－1 に示す 1 洪水あたり 144 時間の全 11 事例から，2016 年 8 月事例を除いた 10 事例を学習データとして使用した．

2. 2 予測に用いる目的変数と説明変数

本研究では，木浪ら²⁾の手法を参考に 6h 積算流入量を目的変数とした予測を行う．さらに後述する方法で貯水位予測を行う．予測に使用した説明変数の一覧を表－2 に示す．

2. 3 RF 法による統計モデル

6h 積算流入量の予測には機械学習法の 1 つである RF 法を用いて行う．RF 法とは，多数の決定木を組み合わせることで予測モデルの汎化性能を高めるアルゴリズムである．また，RF 法では寄与度が算出される．これは，目的変数との重要度を表したものであり，値が大きいほど影響力が大きい説明変数であることを意味する．また，決定木の分割毎に各説明変数の寄与度が算出され，分割時の MSE が小さくなるほど寄与度は大きくなる．そのため，寄与度は個々の説明変数と目的変数の相関係数を求めた値と異な



図－1 対象地点の流域図

表－1 予測及び学習に用いた過去の洪水事例一覧

*順位	金山ダム		
	事例年月	単位時間 ピーク流入量(m³/s)	6時間積算 ピーク流入量(m³)
1	2016/8/28 1:00 ~ 9/2 24:00	1556.23	26,277,804
2	2001/9/8 1:00 ~ 9/13 24:00	406.82	8,341,200
3	2006/8/16 1:00 ~ 8/21 24:00	380.86	7,668,000
4	2003/8/7 1:00 ~ 8/12 24:00	285.84	5,871,600
5	2005/8/19 1:00 ~ 8/24 24:00	238.07	4,467,600
6	2012/9/7 1:00 ~ 9/12 24:00	219.50	3,654,000
7	2010/8/21 1:00 ~ 8/26 24:00	184.95	3,549,600
8	2011/8/13 1:00 ~ 8/18 24:00	167.71	3,434,400
9	2002/9/29 1:00 ~ 10/4 24:00	165.00	3,099,600
10	2013/9/13 1:00 ~ 9/18 24:00	162.85	3,330,000
11	2000/8/30 1:00 ~ 9/4 24:00	124.82	2,548,800

*2000年～2016年の1h最大ピーク流入量の順位．これらから144h（6日分）を抽出
は予測対象事例

表－2 説明変数の諸元

観測項目	データ概要	説明変数の数
流入量 (m³)		7
流域平均雨量 (mm)	$t-12 \sim t-6, t-11 \sim t-5, \dots, t-6 \sim t$ の 6h 積算値	7
地点雨量 (mm)		7
予測雨量 (mm)		1
(みなし予測雨量)	$t \sim t+6$ の 6h 積算値	7
土壌雨量指数	$t-6 \sim t$ の時間値	7
差分流入量 (m³)	$t-12 \sim t-6, t-11 \sim t-5, \dots, t-6 \sim t$ の 6h 積算値の 1h ずらした値との差分値	7
差分流域平均雨量 (mm)	$t-12 \sim t-6, t-11 \sim t-5, \dots, t-6 \sim t$ の 6h 積算値の 1h ずらした値との差分値	7
差分地点雨量 (mm)	$t-12 \sim t-6, t-11 \sim t-5, \dots, t-6 \sim t$ の 6h 積算値の 1h ずらした値との差分値	7
単位時間差分流入量 (m³)	$t-6 \sim t$ の 1h ずらした値との差分値	7

t:現在時刻

り，変数間の従属性（多重共線性）の影響を排除したよりロバストな判断の指標となる．

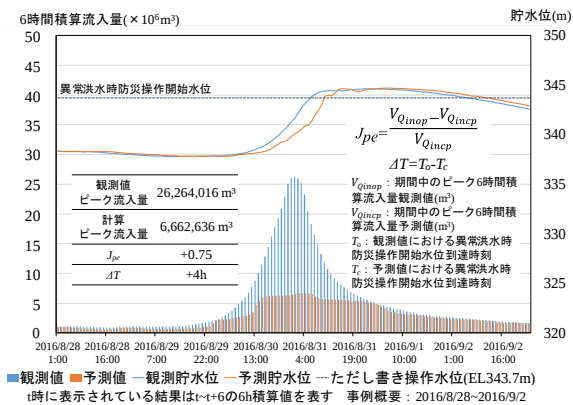
2. 4 ダム流入量算出のための流出計算モデル

後述する仮想事例の作成には，2 段タンク型貯留関数モデル³⁾を使用した．2016 年 8 月事例以前のデータを使用した予測を行うため，表－1 に示す既往第二位の洪水（2001 年 9 月）事例における観測流域平均雨量を使用し，SCE-UA 法でモデルパラメータの最適化を行った．

2. 5 流入量と貯水位の予測

2. 3 節で示す RF 法によって 6h 積算流入量を算出し，その 6h 積算流入量を用いて以下の方法で貯水位を算出した．

1) 予測された 6h 積算流入量の増減量を時間ごとに



按分し、1h 毎($t \sim t+1, t+1 \sim t+2, \dots, t+5 \sim t+6$)の流入量予測値を求める。

- 2) t 時の流入量と貯水位により、操作規則に基づく $t \sim t+1$ 間の放流量を設定する。放流量はその間一定とする。
- 3) $t \sim t+1$ の流入量予測値と上記放流量から水収支計算により $t+1$ 時の貯水量予測値を求める。
- 4) 貯水位-貯水量(H - V)関係より $t+1$ 時の貯水位予測値を求める。
- 5) 上記手順を 1h 毎に繰り返し、6h 先($t+6$)までの貯水位を予測する。

3. 結果と考察

本研究で用いた精度指数はピーク流入量相対誤差(以下、 J_{pe})、異常洪水時防災操作開始水位到達時刻差(以下、 ΔT)を用いて行った。 J_{pe} 、 ΔT の値が負になると安全側の予測であることを意味する。

3.1 実事例を用いた RF 法による予測結果

RF 法において、2016 年 8 月事例を予測した結果を図-2 に示す。予測結果より、観測ピーク流入量を 75%も過小評価していることがわかる。原因として、RF 法で用いる決定木による回帰アルゴリズムは、確率分布の推定を伴う他の機械学習アルゴリズムと異なり、学習で与えた数値以上の値を原理的に出力できないことから、過去最大ではない観測データのみを学習データとした場合、それ以上のピーク値の予測は難しいことが示唆される。

3.2 仮想事例を用いた RF 法による予測結果

本研究では表-1 に示す各洪水事例の流域平均雨量を 2 倍～10 倍に引き伸ばした値を使用して、2.4 節に示す方法で計算した流入量を仮想事例として学習させた。仮想事例を用いた予測結果において最も結果が良かった 6 倍時での結果を図-3 に示す。結果より、実事例を使用した予測結果に比べ、総流入量が適切に予測されたことで貯水位の変化を精度良く予測できる結果となった。

3.3 寄与度による考察

RF 法によって算出された説明変数の寄与度上位 5 つを図-4 の左に示す。結果より、流入量が最も高い値を示した。図-4 の右には、各学習事例の流域平均雨量を 1～10 倍して算出された各々のピーク流入量(計算値)の平均値と 2016 年のピーク流入量(観測値)を比較したものを示す。この結果、流域平均雨量を 6 倍して算出されたピーク流入量が 2016 年のピ

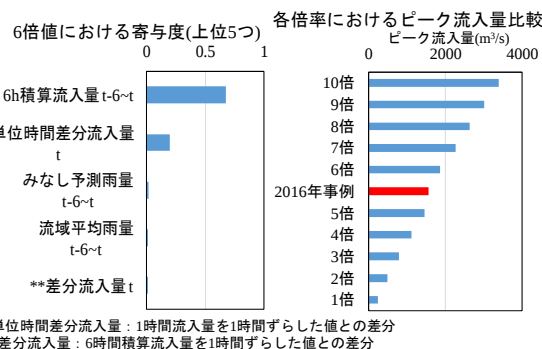
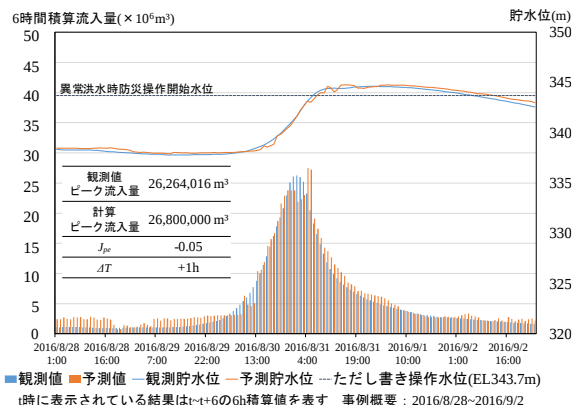


図-4 RF 法による寄与度算出結果(左)

ピーク流入量比較結果(右)

ーク流入量を上回る結果となった。

以上より、ピーク流入量が同程度となる様な事例を学習させれば精度の良い予測ができることが分かった。これまでは生起していなくても今後気候変動等で予想される最大雨量などを与えた流入量を学習させることでより良い予測ができるものと考えられる。

4. 結論

本研究において得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 流出計算モデルを用いて算出された仮想事例を RF 法に学習させることで、流入量を予測できる可能性が示された。
- 2) 積算流入量予測に基づき、貯水位の変化予測を十分な精度で行えることを示した。

今後は予測事例を増やし、一般性のある流入量及び貯水位の予測手法を見出していきたい。

謝辞: 本研究を進めるにあたり、北海道開発局札幌開発建設部にはダム諸量の資料を提供して頂いた。また室蘭工業大学データサイエンス研究室の山田恒輝氏には解析プログラムの提供等、多大なご協力をして頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 坂本ら: ランダムフォレスト法に基づく大河川の低頻度洪水の水位予測に関する研究, 土木学会論文集 B1 (水工学), 74, 5, 2018.
- 2) 木浪ら: RF 法を利用した異常洪水時ダム流入量予測の研究, 土木学会北海道支部, 第 75 号, B-34, 2018
- 3) (財) 北海道河川防災研究センター・研究所: 実践流出解析ゼミ講義テキスト編, 第10 回, 2006.